

**Speed regulation method for DC and AC electric motors**

Patent Number: DE19617867  
Publication date: 1997-11-06  
Inventor(s): DAO HOANG-MINH DR ING (DE)  
Applicant(s): CEGELEC AEG ANLAGEN UND ANTRIE (DE)  
Requested Patent: DE19617867  
Application Number: DE19961017867 19960424  
Priority Number(s): DE19961017867 19960424  
IPC Classification: H02P5/165; G05D13/46  
EC Classification: H02P7/00C  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

The revs regulation method uses superimposed current and torque regulation, with direct correction of the difference between the actual revs ( $N_{ist}$ ) and the required revs ( $N_{soll}$ ) by a proportional element (2), compensation of the load moment by a load- dependent pre-control signal ( $a_{15}$ ) and elimination of the rev disparity by an integral element (4). The load rotation rate ( $n_L$ ) and the load torque ( $m_L$ ) are determined for an oscillatory drive train via an inverse model (23).

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

30P 19190



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**  
⑩ **DE 196 17 867 A 1**

⑤1 Int. Cl. 6:  
**H 02 P 5/165**  
G 05 D 13/46

②1 Aktenzeichen: 196 17 867.3  
②2 Anmeldetag: 24. 4. 96  
④3 Offenlegungstag: 6. 11. 97

DE 196 17 867 A 1

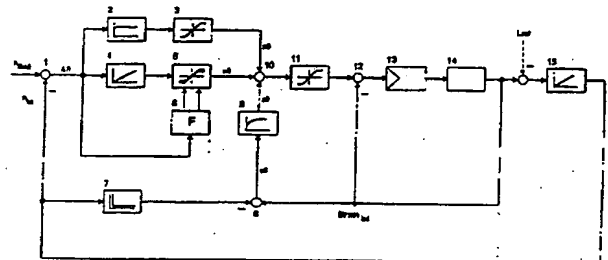
⑦1 Anmelder:  
Cegelec AEG Anlagen und Antriebssysteme GmbH,  
12277 Berlin, DE

⑦2 Erfinder:  
Dao, Hoang-Minh, Dr.-Ing., 14089 Berlin, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Hochdynamischer, überschwingfreier Drehzahlregler

⑤7 Bei einem Verfahren zur überschwingfreien Drehzahlregelung von Gleich- und Drehstrommotoren mit unterlagelter Strom- bzw. Drehmomentenregelung soll ein Überschwingen des Drehzahlwertes nach einem Sprung des Drehzahl Sollwertes vermieden werden. Auch soll dabei die Regeldynamik besser sein als die eines nach der Methode des symmetrischen Optimums eingestellten PI-Reglers. Das Verfahren nach der Erfindung ist zur Lösung dieser Aufgabe dadurch gekennzeichnet, daß eine Abweichung des Drehzahlwertes vom Drehzahl Sollwert durch ein Proportionalglied unmittelbar korrigiert wird, daß das angreifende Lastmoment durch ein lastabhängiges Vorsteuerungssignal kompensiert wird und daß eine Drehzahlabweichung durch ein Integralglied ausgeglichen wird, dessen maximale Ausgangsgröße vom Zustand der Drehzahlabweichung gesteuert wird.



DE 196 17 867 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur überschwingfreien Drehzahlregelung von Gleich- und Drehstrommotoren mit unterlagerter Strom- bzw. Drehmomentenregelung.

Maßgebend für die Regeldynamik einer Drehzahlregelung sind die An- und Ausregelzeit der Regelgröße nach einem Drehzahl- bzw. einem Laststoß. Zu der Regelgüte kommen bei einem herkömmlichen PI-Regler noch das Überschwingen der Drehzahl nach einem Führungsstoß sowie der Drehzahleinbruch nach einem Laststoß (s. Buxbaum, Arne/Schierau, Klaus: Berechnung von Regelkreisen der Antriebstechnik, 4. Aufl., AEG-Telefunken AG, Berlin, Frankfurt am Main 1980, Bilder 11, 12, 177 und 178).

Ein PI-Regler kombiniert bekanntlich die schnelle Reaktion eines P-Reglers mit dem Ausregeln eines I-Reglers nach einer Störung. Der Integralanteil sorgt für die Ausregelung der Regelabweichung als Differenz zwischen dem Soll- und dem Istwert der Regelgröße. Da der Integralanteil des PI-Reglers eine schnelle Änderung des Stellsignals nicht zuläßt, ist das Integrationsverhalten des Integralanteils Ursache für das Überschwingen des Stellsignals und damit auch der Regelgröße.

Um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Überschwingweite nach einem Führungsstoß und dem Drehzahleinbruch nach einem Laststoß zu erhalten, wird der Regler nach der Methode des symmetrischen Optimums eingestellt, dabei wird eine Überschwingweite von ca. 40% des Drehzahlsprunges nach einem Führungsstoß in Kauf genommen (s. Buxbaum/Schierau, S. 116 ff.). Soll das Überschwingen kleiner sein, muß der Regler langsamer eingestellt werden, und je langsamer die Drehzahlregelung ist — also um so größer die An- und Ausregelzeit — um so größer ist auch der Drehzahleinbruch nach einem Laststoß. Ist ein Überschwingen der Drehzahl unerwünscht, so ist entweder ein Drehzahlstoß ist zu vermeiden (beispielsweise wird der Drehzahlsollwert an eine Rampenfunktion geführt) oder eine sehr langsame Drehzahlregelung unausweichlich. Ein langsam eingestellter Drehzahlregler hat aber den oft unerwünschten großen Drehzahleinbruch nach einem Laststoß zur Folge.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art so auszugestalten, daß ein Überschwingen des Drehzahlwertes nach einem Sprung des Drehzahlsollwertes vermieden wird; dabei soll die Regeldynamik besser sein als die eines nach der Methode des symmetrischen Optimums eingestellten PI-Reglers.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Durch die vom Zustand der Drehzahlabweichung abhängige Begrenzung des Ausgangssignals des Integralgliedes und die lastkompensierende Vorsteuerung wird vorteilhafterweise das Überschwingen des Drehzahlwertes nach einem Sprung des Drehzahlsollwertes vermieden, gleichzeitig kann durch die nun ohne weiteres mögliche Anpassung der Proportionalverstärkung des Drehzahlreglers der Drehzahleinbruch nach einem Laststoß kleiner gehalten werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens nach der Erfindung sind in den Ansprüchen 2 bis 4 gekennzeichnet.

Ein Beispiel einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung ist in Fig. 1

als Prinzipschaltbild dargestellt und wird im folgenden erläutert: für die mechanische Regelstrecke 15 wird Integralverhalten angenommen, die Drehzahlregelung mit unterlagerter Strom- bzw. Drehmomentenregelung besteht aus den Bausteinen 1 bis 11. Ein Strom- bzw. Drehmomentenregler ist mit 13 und die elektrische Strecke ist mit 14 bezeichnet. Die Differenz zwischen dem vorgegebenen Drehzahlsollwert  $n_{soll}$  und dem gemessenen Drehzahlwert  $n_{ist}$  wird in einem Subtrahierer 1 zur Drehzahlabweichung  $\Delta n$  gebildet, in einem Proportionalglied 2 verstärkt und mit einem Begrenzer 3 gegebenenfalls eingegrenzt, um dann als erstes Eingangssignal  $a_3$  einem Summierer 10 vorzuliegen. Der Drehzahlwert  $n_{ist}$  wird in einem Differentialglied 7 differenziert und dann in einem Subtrahierer 8 von der Rückführung der unterlagerten Strom- bzw. Drehmomentenregelung abgezogen (Signal  $a_8$ ). Bei entsprechender Parametrierung des Differentialgliedes 7, gemäß der mechanischen Strecke 15, entspricht der ermittelte Wert  $a_8$  dem am Motor angreifenden Lastmoment. Nach der Glättung in einem Tiefpaßglied 9 steht ein Vorsteuerungssignal  $a_9$  als zweites Eingangssignal dem Summierer 10 zur Verfügung. Die Aufgabe des Vorsteuerungssignals  $a_9$  im stationären Zustand der Regelstrecke entspricht dem Integralanteil eines PI-Reglers: dem unterlagerten Strom- bzw. Drehmomentenregelkreis den Kompensationsanteil entsprechend dem Lastmoment vorzugeben, während die Regelabweichung  $\Delta n$  quasi Null ist.

Die Aufgabe eines Regelungsteils F ist es, in Abhängigkeit vom Zustand der Drehzahlabweichung die Grenzen eines Begrenzers 5, welcher die maximale bzw. minimale Ausgangsgröße eines Integralgliedes 4 determiniert, zu beeinflussen: sie werden mit zunehmender Drehzahlabweichung kleiner gesteuert.

Fig. 2 stellt beispielsweise eine Lösungsmöglichkeit zur symmetrischen Steuerung der oberen und der unteren Grenze des Begrenzers 5 dar: der besseren Operationalisierung halber wird in einem Baustein 61 die Drehzahlabweichung  $\Delta n$  in ihren Betrag  $|\Delta n|$  umgeformt, dieser liegt dann am Eingang von Bausteinen 62 und 63 vor. Im Baustein 62 wird in Abhängigkeit vom Betrag der Drehzahlabweichung  $|\Delta n|$  ein Ausgangssignal  $a_{62}$  entsprechend dem Kurvenverlauf a der Fig. 3 gebildet: liegt die Drehzahlabweichung im quasi-stationären Bereich vor (d. h. wenn  $|\Delta n|$  kleiner als ein bestimmter Wert  $|\Delta n^*|$  wird, der den gesamten Bereich von  $|\Delta n|$  in einen quasi-stationären und einen dynamischen Bereich unterteilt), determinieren das Ausgangssignal  $a_{62}$  und das Ausgangssignal  $a_{65}$  eines Bausteins 65 die maximale obere Grenze des Begrenzers 5. Liegt dagegen  $|\Delta n|$  im dynamischen Bereich, wird das Signal  $a_{62}$  Null; dadurch werden die Grenzen des Begrenzers 5 geschlossen, die eine Unterdrückung des Integralanteils der Drehzahlregelung bewirken.

Um eine abrupte Auf- und Zusteuerung der Grenzen zu vermeiden, wird der Übergang (quasi-stationär/dynamisch) des Kurvenverlaufs der abhängigen Variablen  $a_{62}$  mit Verschleifen oder zumindest mit einer Rampenfunktion versehen. Bausteine 63 bis 66 helfen, das Flattern der Grenzen zu vermeiden. Der Baustein 63 fungiert wie ein Zweipunktschalter mit Hysterese. Das Ausgangssignal ist

$a_{63} = 1$  für  $|\Delta n| < |\Delta n^*|$  und  
 $a_{63} = 0$  für  $|\Delta n| > |\Delta n^*|$  (s. Kurve b der Fig. 3).

Das Hin- und Herschalten um den Schalterpunkt  $|\Delta n^*|$

wird durch den Einbau einer Hysterese um denselben vermieden. Der Baustein 64 ist ein Zeitglied mit einer Einschaltverzögerungsfunktion. Der Wert eins des Eingangssignals a63 liegt erst nach einer Verzögerungszeit T am Ausgang des Bausteins 64 als Signal a64 vor. Dadurch wird ein unnötig häufiges Umschalten im Bereich der Übergangsphase quasi-stationär/dynamisch vermieden (s. Kurven c und d der Fig. 3). Im Tiefpaß 65 (beispielsweise in Form eines Verzögerungsgliedes 1. Ordnung) wird das Signal a64 zum Signal a65 geglättet, das multiplikativ mit dem Signal a62 zum Signal a66 als obere Grenze des Begrenzers 5 gebildet wird. Die untere Grenze als Signal a67 erhält man dann durch Negation des Signals a66 im Baustein 67.

Im Regelungsteil F werden also die obere und die untere Grenze des Begrenzers 5 in Abhängigkeit vom Zustand der Drehzahlabweichung (dynamisch/quasi-stationär) ermittelt. Im dynamischen Zustand, d. h. wenn die Drehzahlabweichung außerhalb einer bestimmten Bandbreite liegt, werden die Grenzen des Begrenzers 5 zugesteuert, dadurch wird der Integralanteil der Drehzahlregelung unterdrückt (der Wert des Signals a5 ist Null) und damit auch das Überspringen.

Beim PI-Regler hängt die Stabilitätsgrenze von der Güte der gemessenen Regelgröße (Rauschen usw.) und von der Abtastzeit der Regelung ab, wenn die Regelung digital arbeitet. Die Stabilitätsgrenze ist definiert durch die kleinstmögliche Integrationszeitkonstante  $T_{i,min}$  bei einem bestimmten Verstärkungsfaktor k bzw. durch den größtmöglichen Verstärkungsfaktor  $k_{max}$  bei einer bestimmten Integrationszeitkonstante  $T_i$ , ohne daß die Drehzahl anfängt zu schwingen. Dabei wird die Grenzverstärkung  $k_{max}$  um so kleiner sein, je kleiner die Integrationszeitkonstante  $T_i$  eingestellt ist. Bei dem hier vorgestellten Drehzahlregelungsverfahren wird der Integralanteil im dynamischen Zustand unterdrückt, das entspricht einer unendlich hohen Integrationszeitkonstanten, die eine Erhöhung der Grenzverstärkung  $k_{max}$  erlaubt, ohne daß das Regelsystem instabil wird. Die Verstärkungserhöhung wirkt sich vorteilhaft aus auf die An- und Ausregelzeit sowie auf die Drehzahländerung nach einer Laständerung (d. h. es entsteht nur ein kleinerer Drehzahleinbruch nach einem Laststoß).

Fig. 4 zeigt den Drehzahlverlauf nach einem Führungs- und einem Laststoß durch Kurve a mit einem (nach der Methode des symmetrischen Optimums eingestellten) PI-Regler und durch Kurve b mit dem Drehzahlregelungsverfahren nach der Erfindung.

Im quasi-stationären Zustand, wenn die Drehzahlabweichung innerhalb einer bestimmten Bandbreite liegt, werden die obere und die untere Grenze des Begrenzers 5 geöffnet, so daß das Integralglied 4 die auftretende Regelabweichung ausregeln kann. Das Ausgangssignal a5 des Bausteins 5 ist das dritte Eingangssignal des Summierers 10. In einem Begrenzer 11 werden die Summe von a3, a5 und a9 gegebenenfalls eingeschränkt. Die Drehzahlkonstanz des hier vorgestellten Verfahrens erreicht den Wert eines PI-Reglers (bis unter 0,02% , je nach Meßeinrichtung).

angreifende Lastmoment durch ein lastabhängiges Vorsteuerungssignal kompensiert wird und daß eine Drehzahlabweichung durch ein Integralglied ausgeregelt wird, dessen maximale Ausgangsgröße vom Zustand der Drehzahlabweichung gesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Proportionalglied mit dem Integralglied parallelgeschaltet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang des Proportionalgliedes auf den Eingang des Integralgliedes zurückgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Ausgangsgröße des Integralgliedes auf einen festen Wert kleiner als eins begrenzt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur überschwingfreien Drehzahlregelung von Gleich- und Drehstrommotoren mit unterlagerter Strom- bzw. Drehmomentenregelung, dadurch gekennzeichnet, daß eine Abweichung des Drehzahlwertes vom Sollwert durch ein Proportionalglied unmittelbar korrigiert wird, daß das

- Leerseite -

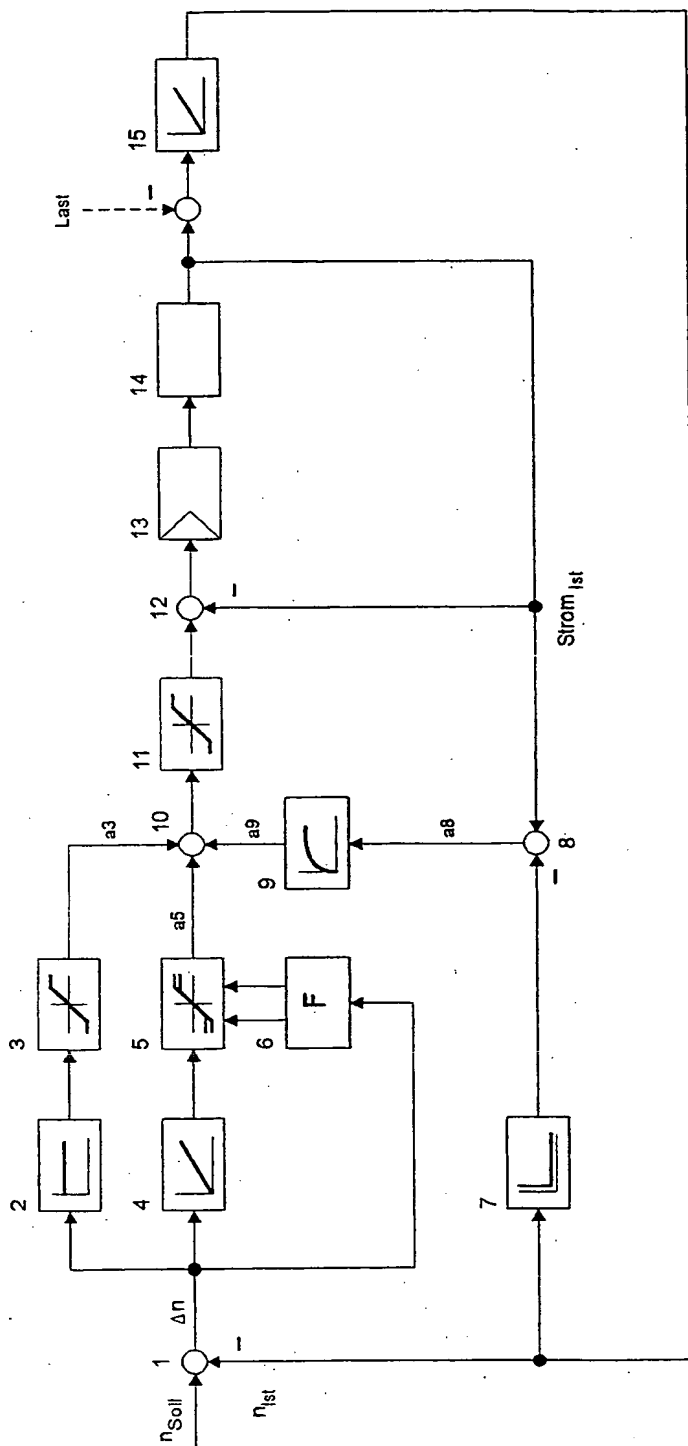


Fig. 1

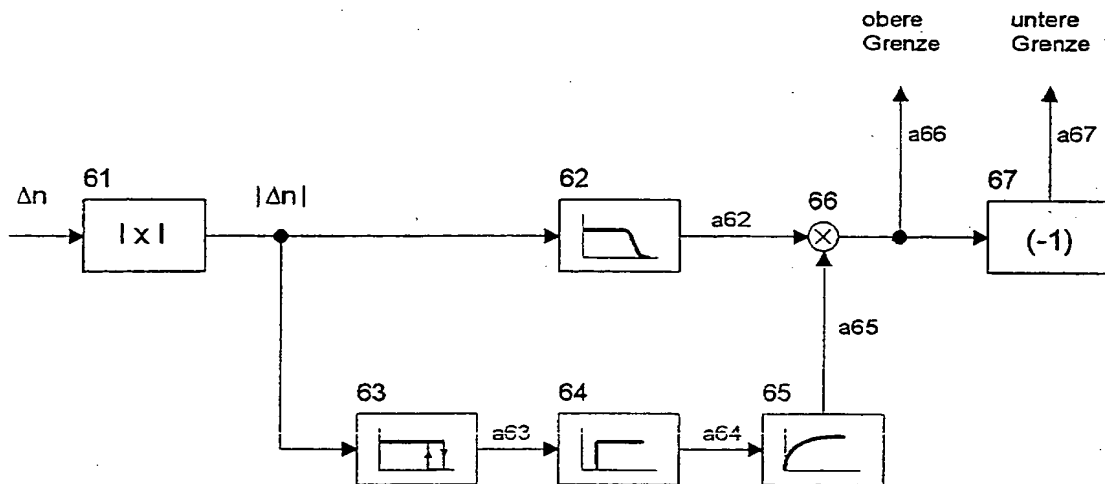


Fig. 2



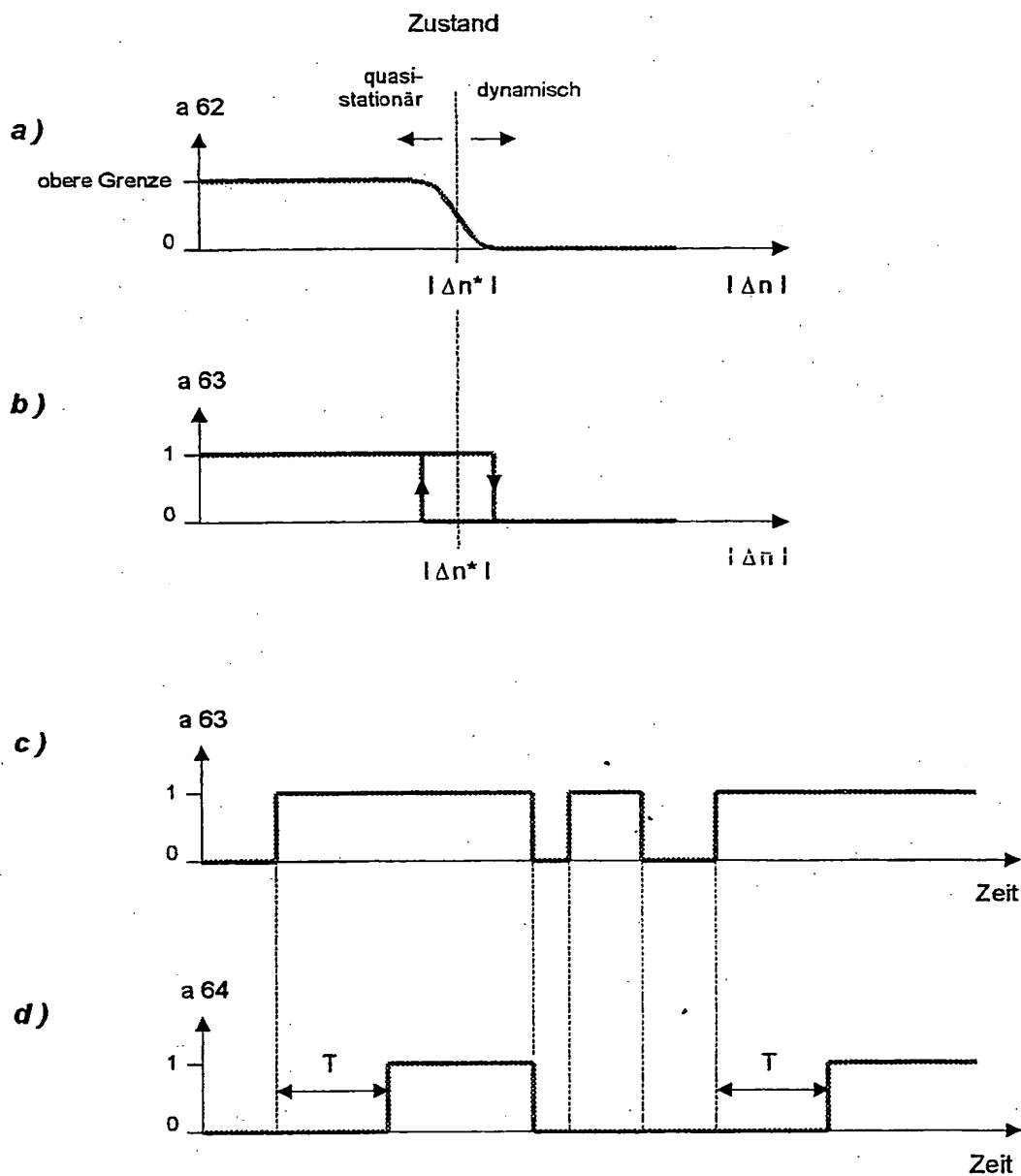


Fig. 3

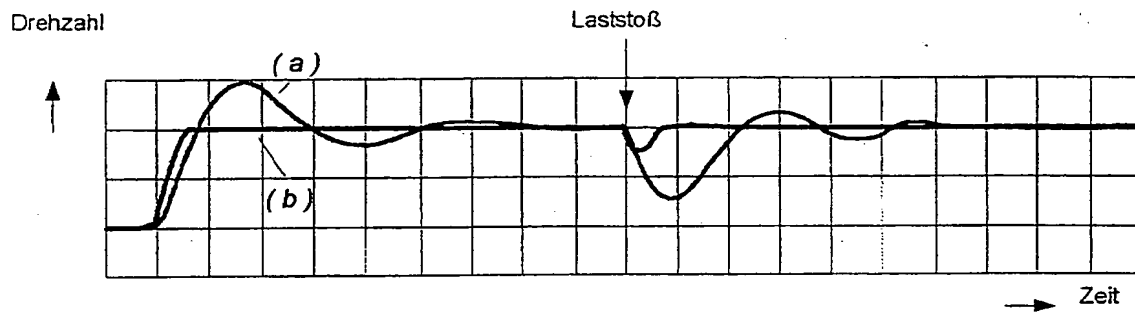


Fig. 4